

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2001068766
PUBLICATION DATE : 16-03-01

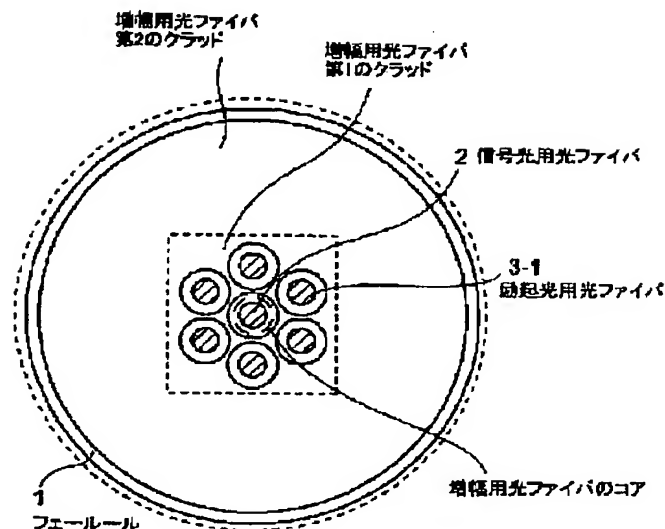
APPLICATION DATE : 25-08-99
APPLICATION NUMBER : 11238596

APPLICANT : NEC CORP;

INVENTOR : TOYOHARA ATSUSHI;

INT.CL. : H01S 3/06 G02B 6/00 H01S 3/094

TITLE : OPTICAL FIBER AMPLIFYING DEVICE



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To enable signal light and exciting light to be efficiently coupled to and amplifying optical fiber through a simple structure in an optical fiber amplifying device with a double clad amplifying optical fiber.

SOLUTION: A bundle fiber which comprises a signal light optical fiber 2 and an exciting light optical fiber 3-1 which propagates exciting light and is arranged adjacent to and parallel with the signal light fiber 2 is used. The signal light optical fiber 2 of the bundle fiber and the core of an amplifying optical fiber are optically coupled together, and the exciting light optical fibers 3-1 are arranged in the first clad of the amplifying optical fiber confronting the core of the amplifying optical fiber. At this point, the bundle fiber and the amplifying optical fiber are joined together through a butt joint method (two edge faces are butted together), or the bundle fiber and the amplifying optical fiber are optically coupled together through a refractive index-distributed lens provided between the bundle fiber and the amplifying optical fiber. The signal light optical fiber and the exciting light optical fiber are housed in a fiber ferrule 1, and a gap is filled up with a filler. The bundle fiber may be provided at either the input side or output side of the amplifying optical fiber.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-68766

(P2001-68766A)

(43) 公開日 平成13年3月16日 (2001.3.16)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 S 3/06

H 0 1 S 3/06

B 2 H 0 3 8

G 0 2 B 6/00

C 0 2 B 6/00

E 5 F 0 7 2

H 0 1 S 3/094

H 0 1 S 3/094

S

審査請求 有 請求項の数18 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平11-238596

(22) 出願日

平成11年8月25日 (1999.8.25)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 豊原 篤志

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100082935

弁理士 京本 直樹 (外2名)

Fターム(参考) 2H038 AA22 AA34 BA01

5F072 AB09 AK06 JJ02 KK30 PP07

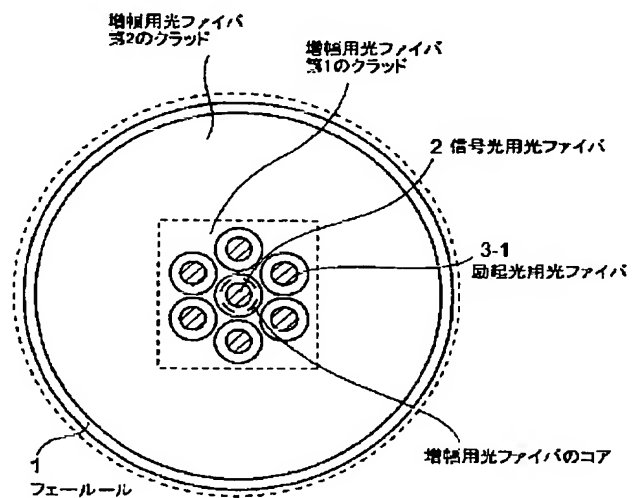
SS01 YY17

(54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅装置

(57) 【要約】

【課題】 ダブルクラッド型増幅用光ファイバを用いた光ファイバ増幅装置において信号光と励起光とを簡易な構成で高効率に増幅用光ファイバに結合させる。

【解決手段】 信号光用光ファイバと、この光ファイバの近傍に平行に配置され励起光が伝搬する励起光用光ファイバを含むバンドルファイバを用いる。バンドルファイバの信号光用光ファイバと増幅用光ファイバのコアとが光学的に結合され、増幅用光ファイバの第1のクラッドには、励起光用光ファイバが相対する位置に配置されるようにする。ここで、バンドルファイバと増幅用光ファイバは、端面どうしの突合せ(バッドジョイント)、又はバンドルファイバと増幅用光ファイバの間に配置された屈折率分布型レンズによる。信号光用光ファイバと励起光用光ファイバはともにファイバフェルールに収容され、隙間は充填材により充填される。バンドルファイバは増幅用光ファイバの入出力側どちらに配置してもよい。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 信号光が伝搬する信号光用光ファイバと、前記信号光用光ファイバの近傍に平行に配置され、励起光が伝搬する少なくとも一つの励起光用光ファイバを含むバンドルファイバと、

コアと、該コアの屈折率よりも低い屈折率を有する第1のクラッドと、該第1のクラッドの屈折率よりも低い屈折率を有する第2のクラッドとを有し、入力された信号光を光増幅する増幅用光ファイバと励起光を出力し、該励起光を前記励起光用光ファイバに入射する励起光源とを備え、

前記バンドルファイバの前記信号光用光ファイバと前記増幅用光ファイバの前記コアとが光学的に結合されていることを特徴とする光ファイバ増幅装置。

【請求項2】 前記バンドルファイバと前記増幅用光ファイバは、端面どうしが突き合わされて、前記バンドルファイバの前記信号光用光ファイバと前記増幅用光ファイバの前記コアとが光学的に結合されていることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項3】 前記励起光用光ファイバのコアは、前記増幅用光ファイバの前記第1のクラッドに相対する位置に配置されることを特徴とする請求項2記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項4】 前記バンドルファイバと前記増幅用光ファイバは、ともに端面の法線が光軸に対して斜めになるように前記端面が形成されていることを特徴とする請求項2又は請求項3記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項5】 前記バンドルファイバと前記増幅用光ファイバの間には、屈折率分布型レンズが配置されて、前記バンドルファイバの前記信号光用光ファイバと前記増幅用光ファイバの前記コアとが光学的に結合されていることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項6】 前記バンドルファイバと前記増幅用光ファイバの間には、屈折率分布型光ファイバが配置されて、前記バンドルファイバの前記信号光用光ファイバと前記増幅用光ファイバの前記コアとが光学的に結合されていることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項7】 前記励起光用光ファイバのコアは、前記屈折率分布型レンズを挟んで前記増幅用光ファイバの前記第1のクラッドに相対する位置に配置されることを特徴とする請求項5又は請求項6記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項8】 前記屈折率分布型レンズは、第1の端面で出射された光が前記第1の端面に相対する第2の端面近傍で集光される長さを有することを特徴とする請求項7記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項9】 前記バンドルファイバの端面と前記増幅用光ファイバの端面、及び前記屈折率分布型レンズの前記第1の端面と第2の端面はそれぞれ、端面の法線が光

軸に対して斜めになるように前記端面が形成されていることを特徴とする請求項5又は請求項8記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項10】 前記バンドルファイバの端面と前記増幅用光ファイバの端面、及び前記屈折率分布型光ファイバの前記第1の端面と第2の端面はそれぞれ、端面の法線が光軸に対して斜めになるように前記端面が形成されていることを特徴とする請求項5記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項11】 前記信号光用光ファイバは、ファイバフェルールの中心に配置され、前記信号光用光ファイバの周囲にあつて前記ファイバフェールの内周の間に前記励起光用光ファイバが配置されていることを特徴とする請求項1から請求項10までのいずれかの請求項に記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項12】 前記ファイバフェールの内周の前記信号光用光ファイバと前記励起光用光ファイバの隙間には充填材が充填されていることを特徴とする請求項11記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項13】 前記バンドルファイバは、前記増幅用光ファイバに対して前記信号光が入力される側に配置され、

前記励起光が前記信号光と同じ方向に伝搬して前記増幅用光ファイバに入力されることを特徴とする請求項1から請求項12までのいずれかの請求項に記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項14】 前記バンドルファイバは、前記増幅用光ファイバに対して前記信号光が出力される側に配置され、

前記励起光は前記信号光と反対の方向に伝搬して前記増幅用光ファイバに入力されることを特徴とする請求項1から請求項12までのいずれかの請求項に記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項15】 前記バンドルファイバは、前記増幅用光ファイバに対して前記信号光が入力される側と出力される側の双方に配置され、

前記励起光は前記信号光と同じ伝搬方向と反対の伝搬方向の双方向から前記増幅用光ファイバに入力されることを特徴とする請求項1から請求項12までのいずれかの請求項に記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項16】 請求項13記載の光ファイバ増幅装置であつて、さらに、

前記バンドルファイバの前記信号光用光ファイバの入力側に配置される第1の光アイソレータと、

前記増幅用光ファイバの出力側に配置される第2の光アイソレータとを備えていることを特徴とする光ファイバ増幅装置。

【請求項17】 請求項14記載の光ファイバ増幅装置であつて、さらに、

前記増幅用光ファイバの入力側に配置される第1の光ア

イソレータと、

前記バンドルファイバの前記信号光用光ファイバの出力側に配置される第2の光アイソレータとを備えていることを特徴とする光ファイバ増幅装置。

【請求項18】 請求項15記載の光ファイバ増幅装置であって、さらに、

前記バンドルファイバの前記信号光用光ファイバの入力側に配置される第1の光アイソレータと、

前記バンドルファイバの前記信号光用光ファイバの出力側に配置される第2の光アイソレータとを備えていることを特徴とする光ファイバ増幅装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ増幅装置に関し、特に、増幅媒体としてダブルクラッド型増幅用光ファイバを用いた光ファイバ増幅装置に関する。

【0002】

【従来の技術】光通信システムにおける伝送距離の長距離化等に伴って、光信号を直接増幅することができる光ファイバ増幅装置が広く用いられるようになってきている。通常光ファイバ増幅装置は、入射された光信号を増幅する増幅用光ファイバと、励起光を出力する励起光源と、励起光を光信号に合波して上記増幅用光ファイバに入射する光合波器によって構成されている。なお、上記増幅用光ファイバには、希土類元素がドープされた希土類元素ドープファイバが用いられ、例えば1.55 μm 帯の波長の光信号の増幅であれば、エルビウム添加光ファイバが用いられている。そして、励起光には、波長1.48 μm 帯や0.98 μm 帯の波長の光が用いられる。

【0003】ところで、従来は、例えば1.55 μm 帯の波長の信号光を光増幅する場合、1.48 μm 帯の励起光をこれに合波して両光を増幅用光ファイバに入射するために、1.55 μm の波長の光と1.48 μm の波長の光を合波する光合波器が用いられている。この光合波器は、光ファイバを溶融した融着型光合波器や誘電体多層膜によって構成された光合波器が用いられる。

【0004】上述した構成はいずれも増幅用光ファイバが、コアとその周りに当該コアよりも低い屈折率の材質によって構成された単一のクラッドからなることを前提としたものである。これに対して、近年、ダブルクラッド型と呼ばれる増幅用光ファイバが導入されつつある。ダブルクラッド型増幅用光ファイバについて記載した文献としては、例えば、特開平09-205239号公報に記載されるものがある。上記文献に記載のものは、シングルモードのコアの外周に、第1、第2のクラッドが2層にわたって形成され、コアには4準位系の希土類元素がドープされ、また、第1クラッドよりも第2クラッドの屈折率が所定の条件を満たすよう小さく設定されているというものである。

【0005】このようなダブルクラッド型増幅用光ファ

イバを用いて光ファイバ増幅装置を構成するためには、コアに信号光を入射し、同時にその周りにある第1クラッドに励起光を入射させればよい。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】光ファイバ増幅装置を用いた光伝送装置では、伝送距離の長距離化や光交換機能を有する伝送システムに対応するために、例えば光送信装置にはワットクラスの高出力が求められており、これを果たす高い利得を備えた光ファイバ増幅装置を実現するものとして上述したダブルクラッド型増幅用光ファイバの適用が期待されている。

【0007】光ファイバ増幅装置は、増幅媒体となる光ファイバに増幅される信号光と増幅媒体に増幅作用を与える励起光を同時に注入することで信号光の光増幅が行われる。ダブルクラッド型ファイバを用いる場合には、信号光はファイバ中心部のコア部分を伝搬させるようにし、励起光はコアの外側にコアを含むように形成されたクラッド部分を主に伝搬されればよい。

【0008】ところが、第1クラッドに励起光を高効率で結合させることは困難であるという問題がある。上記結合をさせるための信号光と励起光との合波手段としては、例えば、ダブルクラッド型増幅用光ファイバと励起光のファイバを近接させ方向性結合器を形成しエバネセント結合を利用して合波させる構成、マイクロ 옵ティクス技術を用いて励起光源からのファイバ出力とダブルクラッド型増幅用光ファイバのクラッド部分の像変換を行って結合する構成がある。

【0009】しかしながら、いずれの構成によっても構造が複雑になったり、高出力化のため複数の励起光源からの励起光を高効率で結合させることが困難であったりして実用化に窮するものである。さらに、付随する問題として、第1クラッドの形状が円形であったり矩形であったりし、またそのサイズも様々な要因でばらついているため、容易に励起光と信号光を結合する適当な手段がない。

【0010】本発明の光ファイバ増幅装置は、増幅用光ファイバにダブルクラッド型のものを用いる構成を前提とし、信号光と励起光とを簡易な構成でしかも高効率に増幅用光ファイバに結合させることを目的としている。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記問題を解決するために、本発明の光ファイバ増幅装置は、信号光が伝搬する信号光用光ファイバと、信号光用光ファイバの近傍にほぼ平行に配置され励起光が伝搬する少なくとも一つの励起光用光ファイバとを含むバンドルファイバが用いられている。一方、増幅用光ファイバには、コアと、このコアの屈折率よりも低い屈折率を有する第1のクラッドと、第1のクラッドの屈折率よりも低い屈折率を有する第2のクラッドとを有し、入力された信号光を光増幅する増幅用光ファイバが用いられている。さらに、励起光

を出力しこの励起光を励起光用光ファイバに入射する励起光源とを備え、バンドルファイバの信号光用光ファイバと増幅用光ファイバのコアとが光学的に結合されていることを特徴としている。

【0012】また、バンドルファイバと増幅用光ファイバは、端面どうしが突き合わされて、バンドルファイバの信号光用光ファイバと増幅用光ファイバのコアとが光学的に結合されている。あるいは、バンドルファイバと増幅用光ファイバの間には、屈折率分布型レンズが配置されて、バンドルファイバの信号光用光ファイバと増幅用光ファイバのコアとが光学的に結合されている。ここで、励起光用光ファイバのコアは、増幅用光ファイバの第1のクラッドに相対する位置に配置されている。

【0013】なお、屈折率分布型レンズに代えて、屈折率分布型の光ファイバ（グレーデッド・インデックス光ファイバ）を用いてもよい。

【0014】本発明の光ファイバ装置に用いられるバンドルファイバは、さらにファイバフェルールを有し、信号光用光ファイバと励起光用光ファイバがともにファイバフェルールに収容されているようにしてもよい。このような構成において、信号光用光ファイバは、ファイバフェルールのほぼ中心に配置され、信号光用光ファイバの外周とファイバフェルールの内周の間に励起光用光ファイバが配置されている。そして、ファイバフェルールの内周の信号光用光ファイバと励起光用光ファイバの隙間には充填材が充填されている。

【0015】本発明の光ファイバ装置は、増幅用光ファイバにダブルクラッド型のものを用いることとし、この増幅用光ファイバへの信号光の入射及び励起光の入射は、バンドルファイバを用いる。より具体的には、バンドルファイバは、信号光用光ファイバの周囲にこれに近接し平行して励起光用光ファイバが配置されたものである。なお、バンドルファイバは、ファイバフェルールを用いてこの内側に上記信号光用光ファイバと励起光用光ファイバを収容するようにし、さらに充填材を充填すると構造上安定化する。

【0016】そして、バンドルファイバと増幅用光ファイバとは、その端面どうしが突き合わされて、いわゆるバッドジョイント接続されるか、あるいはまた、屈折率分布型レンズなどの集光作用を有する媒体を介して光学的に結合される構成を採用している。上述したように、増幅用光ファイバにはダブルクラッド型のものが用いられ、一方、バンドルファイバは信号光用光ファイバに近接して外周に励起光用光ファイバが配置されているので、増幅用光ファイバのコアに信号光用光ファイバのコアが結合されると、ちょうど増幅用光ファイバの第1のクラッドに効率的に励起光が入射されこの光が第1のクラッドからコアに浸入するので、光増幅作用を生じさせることができる。

【0017】なお、上記構成において、バンドルファイ

バと増幅用光ファイバとの間に屈折率分布型レンズが配置される構成である場合には、励起光用光ファイバのコアは屈折率分布型レンズを挟んで増幅用光ファイバの第1のクラッドに相対する位置に配置されるようにすれば、屈折率分布型レンズを介して集光した場合にも励起光を増幅用光ファイバの第1のクラッドに効率よく結合させることができる。特に、屈折率分布型レンズは、第1の端面で出射された光が第1の端面に相対する第2の端面近傍で集光される長さ、すなわちピッチが自然数（通常は1）になるようなものを選定すればよい。

【0018】ここで、本発明の光ファイバ増幅装置に用いられるバンドルファイバと増幅用光ファイバは、ともに端面の法線が光軸に対して斜めになるように端面が形成されていることを特徴としている。このようにすることにより、接続部における反射戻り光による影響を回避するとともに、バンドルファイバから増幅用光ファイバに励起光が入射される際に、両者のわずかな屈折率差により伝搬方向に角度がつき、励起光は増幅用光ファイバ内で第1のクラッドからコアを横切るようになり、効率よく光増幅を行わせることができるようになる。

【0019】屈折率分布型レンズを介してバンドルファイバと増幅用光ファイバを結合させる場合にも、バッドジョイントと同様、バンドルファイバの端面と増幅用光ファイバの端面、及び屈折率分布型レンズの第1及び第1の端面はそれぞれ、端面の法線が光軸に対して斜めになるように端面が形成されているようにすることにより、増幅用光ファイバ内で励起光が効率よくコアを横切るようにすることができる。

【0020】上述した本発明の光ファイバ増幅装置の構成において、バンドルファイバは増幅用光ファイバに対して入力側に配置し、信号光と励起光が同じ方向に向けて伝搬するようにして増幅用光ファイバに入射されるようにしてもよい（いわゆる前方励起型）。また逆に、出力側に配置し、信号光と励起光が反対方向に、すなわち増幅用光ファイバから増幅されて出力された信号光がバンドルファイバの信号光用光ファイバに結合し、バンドルファイバの励起光用光ファイバから励起光が出力されて増幅用光ファイバに入射されるようにしてもよい（いわゆる後方励起型）。さらに、増幅用光ファイバに対して入出力側の双方にバンドルファイバを配置することもできる（いわゆる双方向励起型）。

【0021】本発明の光ファイバ増幅装置は上記構成において、例えば前方励起型であればさらに、バンドルファイバの信号光用光ファイバの入力側及び増幅用光ファイバの出力側にそれぞれ光アイソレータを配置して、反射戻り光による影響を回避することができる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の光ファイバ増幅装置について、図面を参照して詳細に説明する。

【0023】本発明の光ファイバ増幅装置に用いられて

いるバンドルファイバの構成、及びそれを用いた全体の構成を説明する前に、本発明に用いられるダブルクラッド型増幅用光ファイバについて説明する。図1乃至図3は、本発明の光ファイバ増幅装置に用いられているダブルクラッド型増幅用光ファイバの構造の一例をそれぞれ示す断面図である。なお、各図において、コア部にはハッチングが施されている(図4、5も同様)。コアの周囲の部分(ハッチングが施されていない部分)がクラッドである。

【0024】信号光が伝搬するコア7a(屈折率 n_{7a})には微量の希土類が添加されており、その周囲を第1のクラッド7b(屈折率 n_{7b})と第2のクラッド7c(屈折率 n_{7c})で覆われた構造となっている。コア7aに伝搬する光を閉じ込めておくために、屈折率は、 $n_{7a} > n_{7b} > n_{7c}$ の関係を有する。一般的には、図1に示されるようなコア7aを中心に同心状に円形の第1のクラッド7bが形成され、さらにその周囲に第2のクラッド7cが形成されたものが用いられる。図2は、矩形状の断面の第1のクラッド7bを有する増幅用光ファイバであり、図3は、第1のクラッド7bは円形であるが、同心状でなくコア7aが偏心した構成をもつものである。

【0025】コア7aを伝搬する信号光を光増幅するために、第1のクラッド7bに励起光が入射される。励起光はコア7a内の希土類元素を励起して、信号光を増幅させる作用をもつ。第2のクラッド7cは第1のクラッド7bに励起光を閉じこめるために形成されたものである。

【0026】次に、本発明の光ファイバ増幅装置に用いられるバンドルファイバの構成について説明する。

【0027】図4及び図5は、バンドルファイバの一例の断面図を示したもので、図4に示されるものは、中心部に信号光用光ファイバ2が配置され、その両側に2本の励起光用光ファイバ3-1、3-2が信号光用光ファイバに平行に配置されている、これら3本の光ファイバ2、3-1、3-2は円筒形状のファイバフェルール1に収容され、さらに隙間には充填材4が充填され、固着されている。

【0028】図5に示されるバンドルファイバは、中心に配置された信号光用光ファイバ2の周囲に6本の励起光用光ファイバ3-1~3-6が配置されたものである。隙間には図4に示されるバンドルファイバと同様、充填材4が充填されている。

【0029】図6は、上述したバンドルファイバを側面から見た図である。ファイバフェルール1には図の左方から信号光用光ファイバ2と励起光用光ファイバ3-1~3-6が平行に挿入・配置されている。フェルール1の図中の右端は、先端が揃えられて研磨加工されている。

【0030】次に、バンドルファイバと増幅用光ファイバの接続、すなわち光学的な結合について説明する。

【0031】図7は、本発明の光ファイバ増幅装置に用いられるバンドルファイバと増幅用光ファイバの接続の状態を示す図である。図6に示されるバンドルファイバ10が図中左側に示され、右側には増幅用光ファイバ7が示されている。両者は、バンドルファイバ10の信号光用光ファイバ2のコアと増幅用光ファイバ7のコア7aが一致するように、すなわち光学的に最適結合するように配置されている。なお、図7に示される構成では、バンドルファイバ10及び増幅用光ファイバ7はともに突き合わせされる端面が斜めに形成されている。これは接続点におけるフレネル反射光が光ファイバに戻るのを防ぐと同時に、励起光が増幅用光ファイバ7の第1のクラッドに入射したときに、端面における屈折によりクラッド中を斜めに伝搬するようにし、効率的にコア7aを横切るためである。

【0032】図8は両者の位置関係を示す図で、バンドルファイバの側から増幅用光ファイバを見たもの(図7におけるA-A'断面から増幅用光ファイバ7の側を見たもの)である。実線で示される部分はバンドルファイバの構成部品を示しており、すでに説明したように、信号光用光ファイバ2の周囲に6本の励起光用光ファイバが配置され、これらがフェルール1の内部に収容されている。一方、波線はダブルクラッド型の増幅用光ファイバの構成を示しており、コア7aの周りに第1のクラッドが形成されており、さらにその周りに第2のクラッドが形成されている。

【0033】ここで、バンドルファイバ10の信号光用光ファイバ2と増幅用光ファイバ7はコアの中心が一致するように接続されている。また、増幅用光ファイバの第1のクラッドには、バンドルファイバ10の励起光用光ファイバ3-1~3-6のコア部が包含されるように配置されている。従って、バンドルファイバ10から出力された信号光は、増幅用光ファイバに高効率で増幅用光ファイバ7のコア7aに結合される。そして、励起光用光ファイバから出力される励起光は、増幅用光ファイバの第1のクラッドに入射されることとなる。第1のクラッドに入射された励起光は、第1のクラッド内にとどまり光ファイバを伝搬する過程でコア7aにも浸透して増幅用光ファイバを励起状態にし、これによりコア7aを伝搬する信号光を光増幅することができる。

【0034】これまでバンドルファイバ10と増幅用光ファイバ7がいわゆるバッドジョイント方式により接続される構成について説明してきたが、本発明の光ファイバ増幅装置では、バンドルファイバ10と増幅用光ファイバ7の光学的な結合は、図9に示されるような構成とすることもできる。すなわち、バンドルファイバ10と増幅用光ファイバ7との間に屈折率分布型レンズ9を配置することにより両者を光学的に結合させることもできる。屈折率分布型レンズは、通常円筒状の形状を有しており、中心軸で最も屈折率が高く、周囲にいくに従って

屈折率が低くなるように屈折率が分布したレンズをいう。このようなレンズを用いることにより一端面から入射された光は、一旦レンズを伝播する過程で拡がるが、屈折率分布による集光作用により再び集光させることができる。

【0035】なお、高効率で両者を結合させるには、屈折率分布型レンズの長さは、一端面において出射された光が他端面でちょうど集光される長さ、すなわち自然数のピッチ（通常は1ピッチ）の長さを選定すればよい。このピッチは通常波長によって異なるが、信号光の波長に合わせればよい。励起光の波長ではわずかにピッチはずれるが、この場合でも増幅用光ファイバ7の第1のクラッドは受光できる領域が広いので高効率で結合をさせることができる。図9に示される実施の形態においても、端面における反射が戻るのを防ぐと同時に励起光が増幅用光ファイバ7のコア7a内をより効率的に横切るようにするために、バンドルファイバ10、増幅用光ファイバ7、及び屈折率分布型レンズ9の各端面は斜めに形成されている。

【0036】上記実施の形態では、屈折率分布型レンズを用いた構成について説明したが、屈折率分布型レンズに代えて、短尺の屈折率分布型光ファイバ、例えばG150などのマルチモードファイバを用いることもできる。この場合にも、屈折率分布型レンズを用いた構成と同様、短尺光ファイバの両端面を斜めに形成することにより、反射戻り光の影響を回避しつつ、効率良く励起光が増幅用光ファイバのコアを横切るようにすることができる。

【0037】次に、このバンドルファイバを用いた光ファイバ増幅装置の構成について説明する。図10乃至図12は、本発明の光ファイバ増幅装置の第1乃至第3の実施の形態の構成をそれぞれ示す図で、図10に示されるものが前方励起、図11が後方励起、図12が双方向励起と呼ばれる励起光の入力形態に応じた光ファイバ増幅装置の構成を示したものである。

【0038】図10に示される構成では、増幅用光ファイバ7の入力側にバンドルファイバ10が配置され、励起光は信号光と同じ方向から増幅用光ファイバ7に入力される。図11に示される構成では、増幅用光ファイバ7の出力側にバンドルファイバ10が配置され、増幅され出力される信号光とは逆向きに励起光が入力される。

【0039】なお、第1の実施の形態では、反射光が戻るのを防止するために、バンドルファイバ10の入力側及び増幅用光ファイバ7の出力側には、それぞれ光アイソレータ6、8が配置されている。第2の実施の形態では、反射光が戻るのを防止するために、増幅用光ファイバ7の入力側及びバンドルファイバ10の出力側には、それぞれ光アイソレータ6、8が配置されている。同様に第3の実施の形態でも、バンドルファイバ10の入力側及びバンドルファイバ11の出力側にそれぞれ光アイ

ソレータ6、8が配置されている。

【0040】

【実施例】次に、本発明の光ファイバ増幅装置の実施の形態について、実施例を示してもう少し具体的に説明する。

【0041】再び図10を参照して、本発明の光ファイバ増幅装置について説明する。信号光源5には1550nm帯の波長を発光するレーザが用いられており、信号光源から出力されたレーザ出力は、すでに説明したバンドルファイバ10の光ファイバ2に光アイソレータ6を介して光学的に結合されている。なお、バンドルファイバ10は図6に示される構成のものが使用され、信号光用光ファイバ2及び励起光用光ファイバ3-1~3-6には、コア径9 μ m、クラッド径40 μ mのシングルモードファイバが用いられている。

【0042】励起光源4-1~4-6には1.48 μ m（1480nm）帯の波長を発光する励起レーザが用いられており、信号光源と同様、シングルモードファイバからなる光ファイバ3-1~6に光学的に接続されている。バンドルファイバ10は、ダブルクラッド型増幅用光ファイバ7と端面どうしを直接突き合わせた、いわゆるバットジョイント方式により光学的に結合されている。

【0043】本実施例で用いられているダブルクラッド型増幅用光ファイバ7の断面構造は、図1においてコア7a、第2のクラッド7cがそれぞれ同心円のものが用いられており、それぞれ形状は ϕ 8 μ m、 ϕ 185 μ mである。また、第1のクラッド7bは一辺が約125 μ mのほぼ正方形の形状を有している。

【0044】一方、バンドルファイバ10の励起光用シングルモードファイバ3-1~3-6は、信号光用シングルモードファイバ2を中心に半径約40~50 μ mのほぼ同心円状に配置されている。なお、この配置は、ダブルクラッド型増幅用光ファイバ7の第1のクラッド7bの範囲内にあればどのような配置でも構わない。

【0045】ダブルクラッド型増幅用光ファイバ7のコア7a（屈折率n7a）には微量の希土類元素が添加されている。本実施例では、励起光用光ファイバ3-1~3-6に入力される励起光の波長は1480nm帯であり、上記希土類元素としてEr（エルビウム）が添加されたものが用いられている。なお、ダブルクラッド型増幅用光ファイバに添加される希土類元素としてはErの他にNd（ネオジウム）も使用可能であるが、この場合、信号光波長は0.8 μ m帯、励起LD6の波長は1.1 μ m帯を選択する必要がある。Er添加の場合には、励起光の波長として1.48 μ m（1480nm）帯以外に0.98 μ m（980nm）帯も使用可能である。

【0046】1.55 μ m帯の波長の信号光（例えば波長=1545nm）が信号光源5から光アイソレータ6

を介してダブルクラッド型増幅用光ファイバ7のコア7aに光学的に入射される。励起光源4-1~6の励起光はバンドルファイバ10を介して信号光と同じ側からダブルクラッド型増幅用光ファイバ7の第1のクラッド7bに入射される。このとき励起光の一部はコア7aにも一部入射する。ダブルクラッド型増幅用光ファイバ7の内部では励起光が第1のクラッド7bの内部をジグザグに伝搬する過程でコア7aを横切り、横切る場合にエルビウムを介して信号光にエネルギーを変換するため、信号光は光増幅される。

【0047】なお、バンドルファイバ10とダブルクラッド型増幅用光ファイバ7のバットジョイント部分は反射戻り光を低減するため約8度の斜め研磨が施されている。この斜め研磨により、反射戻り光を防止するとともに、上述した第1のクラッド7bに入射された励起光がジグザグに伝搬されることを助け、コア7aを横切るようにする役目も果たすことになる。

【0048】上記構成による光ファイバ増幅装置において、励起光源4-1~4-6にそれぞれ波長1.48 μ m (1480nm)で発光する100mW出力の励起光源を接続され(総励起パワー600mW)、信号光源として1.55 μ m (1550nm)で0.1mW (-10dBm)の信号光を入力したところ、10mW (+10dBm)の出力が確認され、その効果が確認されている。また、図11及び図12に示される本発明の他の実施の形態においても、同様の効果を得ることが確認されている。

【0049】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光ファイバ増幅装置では、信号光用光ファイバの周囲に励起光用光ファイバを平行に配置したバンドルファイバを用い、これとダブルクラッド型増幅用光ファイバを接続させた構成を採用することにより、より簡易にダブルクラッド型増幅用光ファイバへの信号光及び励起光の入力が可能となる。

【0050】そして、上記構成を用いることにより、ダブルクラッド型増幅用光ファイバの第1のクラッドの形状が変わった場合でもバンドルファイバ10のシングルモードファイバ3-1~nの配置を変えるだけで対応でき、光学設計を必要とせずに励起光と信号光を合波できるという効果も奏する。

【0051】さらに、バンドルファイバと増幅用光ファイバの接続部において、斜め端面加工した構成を用いることにより、増幅用光ファイバの第1のクラッドに入射された励起光がコアを横切るようにすることもでき、これにより確実な増幅効果を得ることもできるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光ファイバ増幅装置に用いられているダブルクラッド型増幅用光ファイバの構造の一例を示す断面図である。

【図2】本発明の光ファイバ増幅装置に用いられているダブルクラッド型増幅用光ファイバの構造の他の例を示す断面図である。

【図3】本発明の光ファイバ増幅装置に用いられているダブルクラッド型増幅用光ファイバの構造の他の例を示す断面図である。

【図4】本発明の光ファイバ増幅装置に用いられているバンドルファイバの一例を示す断面図である。

【図5】本発明の光ファイバ増幅装置に用いられているバンドルファイバの他の例を示す断面図である。

【図6】本発明の光ファイバ増幅装置に用いられているバンドルファイバの構成を示す図である。

【図7】本発明の光ファイバ増幅装置に用いられるバンドルファイバと増幅用光ファイバの接続の状態を示す図である。

【図8】本発明の光ファイバ増幅装置に用いられているバンドルファイバと増幅用光ファイバの結合状態を説明するための図である。

【図9】本発明の光ファイバ増幅装置に用いられるバンドルファイバと増幅用光ファイバの接続の状態を示す図であって、屈折率分布型レンズを介して結合されている状態を示す図である。

【図10】本発明の光ファイバ増幅装置の第1の実施の形態を示す構成図である。

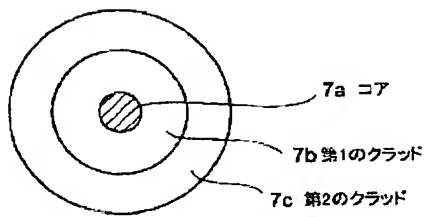
【図11】本発明の光ファイバ増幅装置の第2の実施の形態を示す構成図である。

【図12】本発明の光ファイバ増幅装置の第3の実施の形態を示す構成図である。

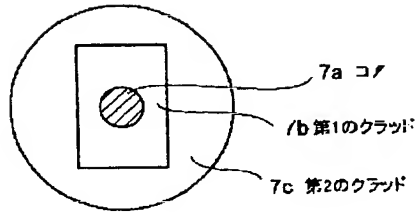
【符号の説明】

1	フェルール
2	信号光用光ファイバ
3-1~n	励起光用光ファイバ
4-1~n	励起光源
5	信号光源
6, 8	光アイソレータ
7	ダブルクラッド型増幅用光ファイバ
7a	コア
7b	第1のクラッド
7c	第2のクラッド
9	屈折率分布型レンズ
10	バンドルファイバ
11	バンドルファイバ

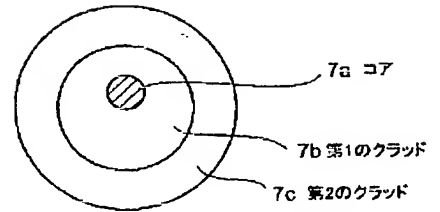
【図1】



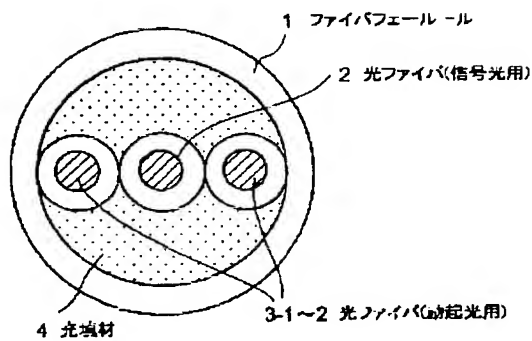
【図2】



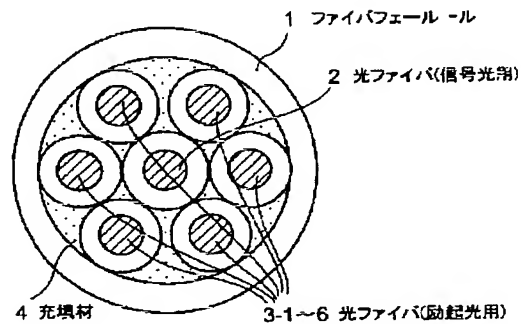
【図3】



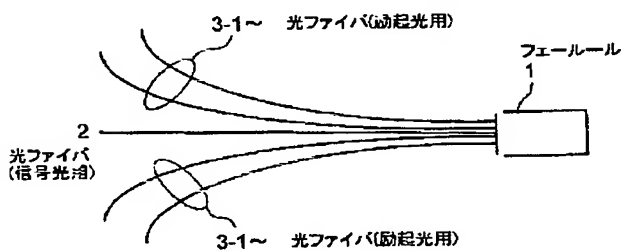
【図4】



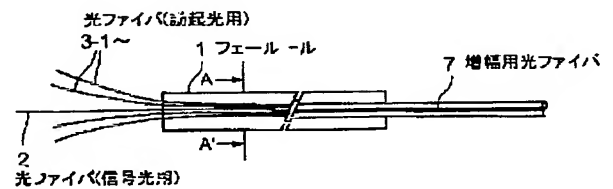
【図5】



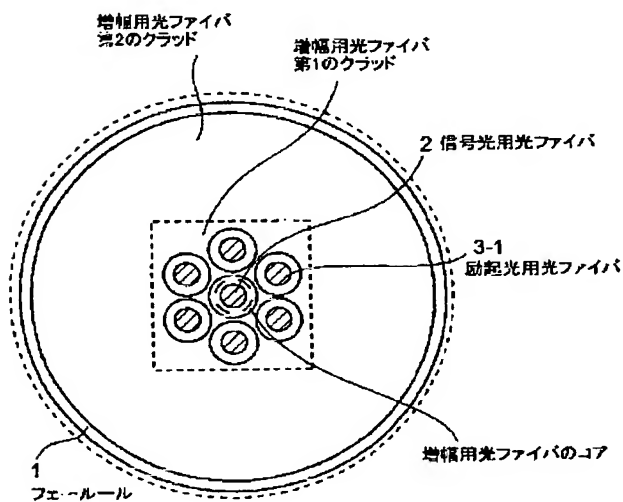
【図6】



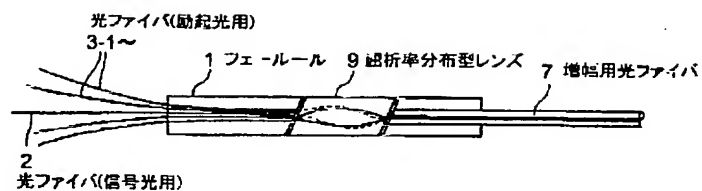
【図7】



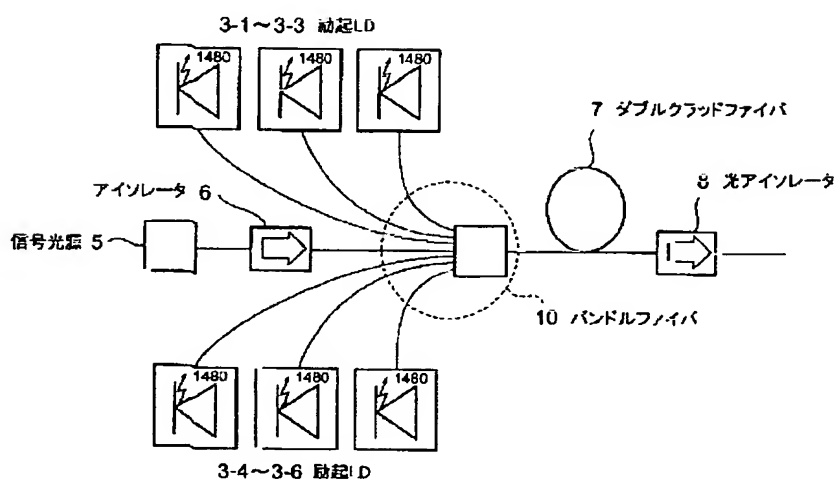
【図8】



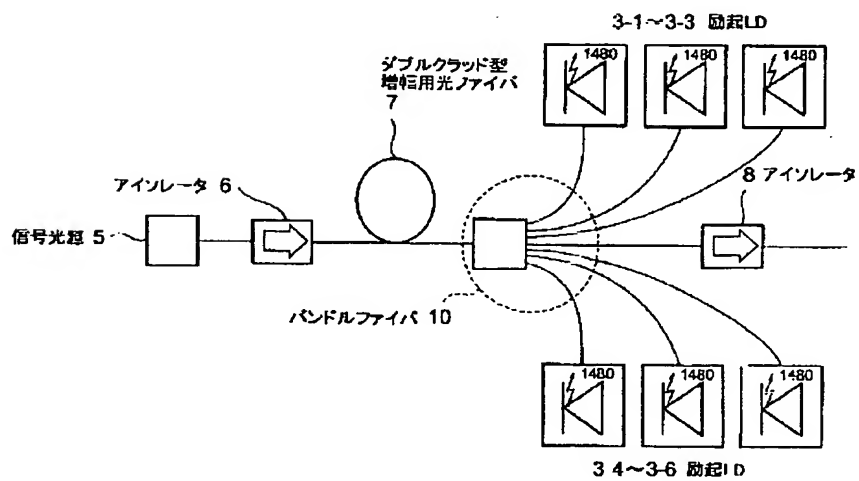
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

